

УДК 621.791.75

**Т. В. Солодова\***

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва

\**tanja\_solodova@mail.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Б. В. Крив*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ-СУСПЕНЗИЯХ С НАНОЧАСТИЦАМИ

В данной работе было проведено экспериментальное исследование зависимости характеристик покрытий с микродуговым оксидированием (МДО) на алюминиевом сплаве В95 от концентрации нерастворимого компонента в электролите.

*Ключевые слова:* микродуговое оксидирование (МДО), алюминиевый сплав, электролит-суспензия, высокопрочный сплав, покрытие.

**T. V. Solodova**

## STUDY OF ALUMINIUM ALLOYS MICRO-ARC OXIDATION IN MULTICOMPONENT ELECTROLYTE-SUSPENSIONS WITH NANOPARTICLES

The characteristics of micro-arc oxide coating on aluminium alloy B95 have been studied depending on concentration of insoluble electrolyte component.

*Keywords:* micro-arc oxidation (MAO), aluminium alloy, electrolyte-suspension, high-strength alloy, coating.

В настоящее время в приборостроении, медицинской, аэрокосмической и других отраслях промышленности все более широкое применение в качестве конструкционных материалов находят легкие металлы и сплавы. Одним из наиболее перспективных методов защиты этих металлов от коррозионного и механического разрушения является микродуговое оксидирование (МДО).

Это относительно новый метод формирования многофункциональных керамикоподобных защитных покрытий, основанный на использовании энергии поверхностных электрических разрядов в электролите. С помощью микродугового оксидирования можно получать покрытия на металлах, оксиды которых, полученные электрохимическим путем, обладают выраженной униполярной проводимостью в системе металл – оксид – электролит (Al, Mg, Ti, Ta и

т. д.) [1]. Такие покрытия по своим свойствам значительно превосходят традиционные анодные оксидные пленки и обладают хорошими электроизоляционными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью. Это позволяет создавать комплекс свойств, повышающих эксплуатационные характеристики изделий.

Микродуговое оксидирование в электролитах, содержащих в своем составе порошки различной степени дисперсности (от нанометров до десятков микрон) и природы (оксиды, карбиды, нитриды, бориды, графит и др.), находящиеся во взвешенном состоянии, представляет собой отдельное направление в области МДО-технологий, которое активно развивается в последнее время. Формированию МДО-покрытий в таких электролитах-суспензиях присущ особый механизм, который влияет не только на их структуру и свойства, но и на скорость их формирования.

В работе исследовалась зависимость характеристик МДО-покрытий на алюминиевом сплаве В95 от концентрации нерастворимого компонента в электролите. В95 сочетает в себе сравнительно высокую прочность, коррозионную стойкость и хорошо обрабатывается резанием. Как следствие, данный сплав нашел широкое применение в изготовлении наружных силовых деталей и конструкций в различных отраслях техники. Химический состав сплава В95 (ГОСТ 4784–97) представлен в таблице ниже.

Химический состав сплава В95 [2]

Сплав	Основные компоненты, %					Примеси, %			
	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Fe	Si	Ti	др.
В95	5,0–7,0	1,8–2,8	1,4–2,0	0,2–0,6	0,25–1,0	0,25–1,0	0,5	0,05	0,05–1,0

Процесс изготовления включает в себя следующее: сначала в дистиллированной воде растворялось необходимое количество щелочи (КОН), а затем добавлялось расчетное количество нерастворимого компонента (НРК), которая предварительно замешивалась мокрым способом в шаровой мельнице. В процессе МДО электролиты интенсивно перемешивались с помощью барботажа сжатым воздухом, а их температура поддерживалась ниже 30 °С путем охлаждения. За основу нерастворимого компонента (НРК) бралась художественная глина. МДО-обработка проводилась в электролитах следующих составов:

$$C_{\text{КОН}} = 2 \text{ г/л}; C_{\text{ЖС}} = 10 \text{ г/л};$$

$$C_{\text{КОН}} = 2 \text{ г/л}; C_{\text{НРК}} = 10 \text{ г/л};$$

$$C_{\text{КОН}} = 2 \text{ г/л}; C_{\text{НРК}} = 15 \text{ г/л}$$

в мягком анодно-катодном режиме с плотностями тока  $i_a = i_k = 5,5 \text{ А/дм}^2$ , в течение 50–150 мин.

Анализ внешнего вида образцов без добавления нерастворимого компонента и с различной его концентрацией показывает, что в зависимости от длительности обработки на поверхности образцов формируется МДО-покрытие различной толщины (рис. 1).

Наибольший прирост толщины относительно стандартного электролита наблюдается при концентрации НРК 15 г/л и длительности обработки 150 мин, а при концентрации НРК 10 г/л наблюдается уменьшение толщины МДО-покрытия относительно стандартного электролита (рис. 2).

Наиболее существенное влияние на сквозную пористость полученных МДО-покрытий оказало внесение НРК при длительности обработки 50 мин: в этом случае наблюдается увеличение пористости более чем в три раза (около 5,5 % при обработке без НРК и около 19,5 % при концентрации НРК 10 г/л).

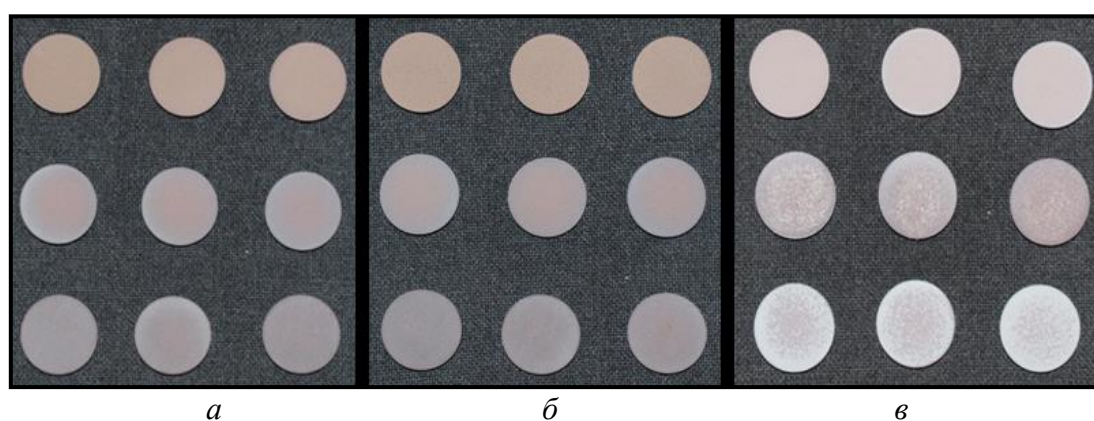


Рис. 1. Внешний вид образцов с МДО-покрытием (длительность обработки):  
*а* – с концентрацией нерастворимого компонента 15 г/л (150 мин);  
*б* – с концентрацией нерастворимого компонента 10 г/л (100 мин);  
*в* – 50 мин, без добавки нерастворимого компонента (50 мин)

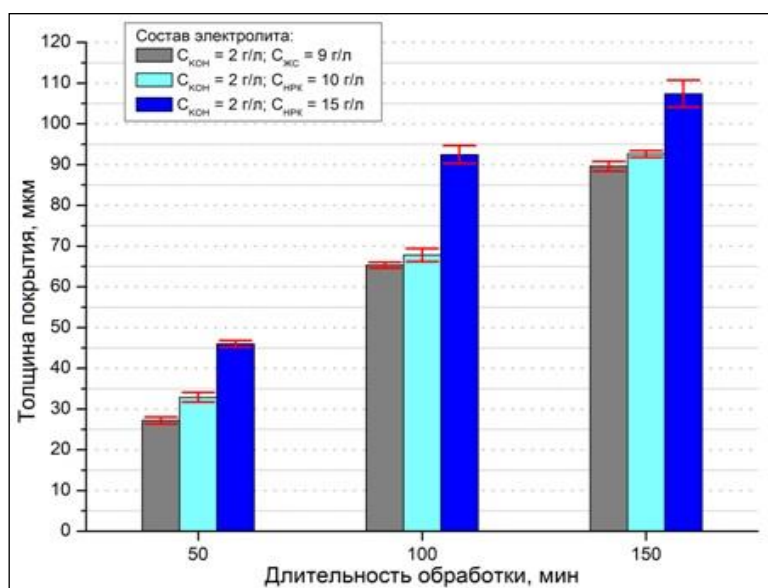


Рис. 2. Влияние концентрации НРК на толщину получаемых МДО-покрытий

При этом увеличение концентрации НРК до 15 г/л приводит к уменьшению сквозной пористости до 8 %. При длительности обработки 100 мин НРК оказывает не такое сильное влияние, но в этом случае получена самая большая сквозная пористость – около 23 %.

Добавка в электролит НРК при обработке в течение 150 мин сопровождается ступенчатым снижением рассматриваемой характеристики от 15,3 до 8,8 % (рис. 3).

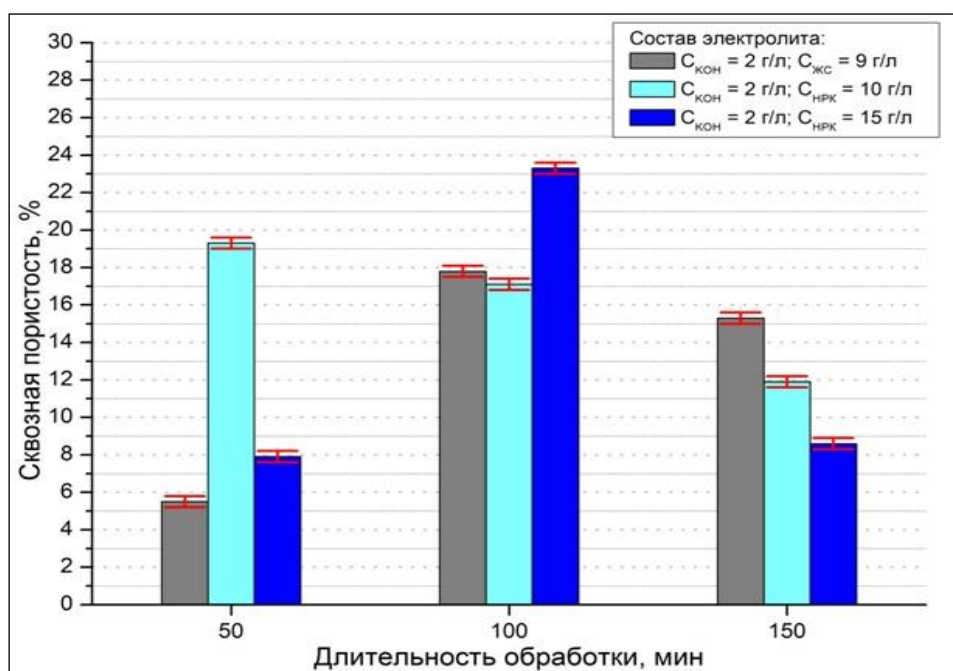


Рис. 3. Влияние концентрации НРК на сквозную пористость получаемых МДО-покрытий

Анализ полученных данных показал, что добавка в электролит НРК оказывает практически одно и то же влияние на микротвердость МДО-покрытий, полученных при длительности обработки 100 и 150 мин. Максимальная во всех рассмотренных случаях микротвердость составляет около  $2300 \text{ кг/мм}^2$ , что всего на  $200 \text{ кг/мм}^2$  меньше твердости (корунда)  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  при относительно невысокой длительности обработки – 150 мин (рис. 4).

В целом по результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что свойства МДО-покрытий на алюминиевом сплаве В95 при обработке в суспензии, содержащей НРК, существенно отличаются от таковых при обработке в стандартном электролите.

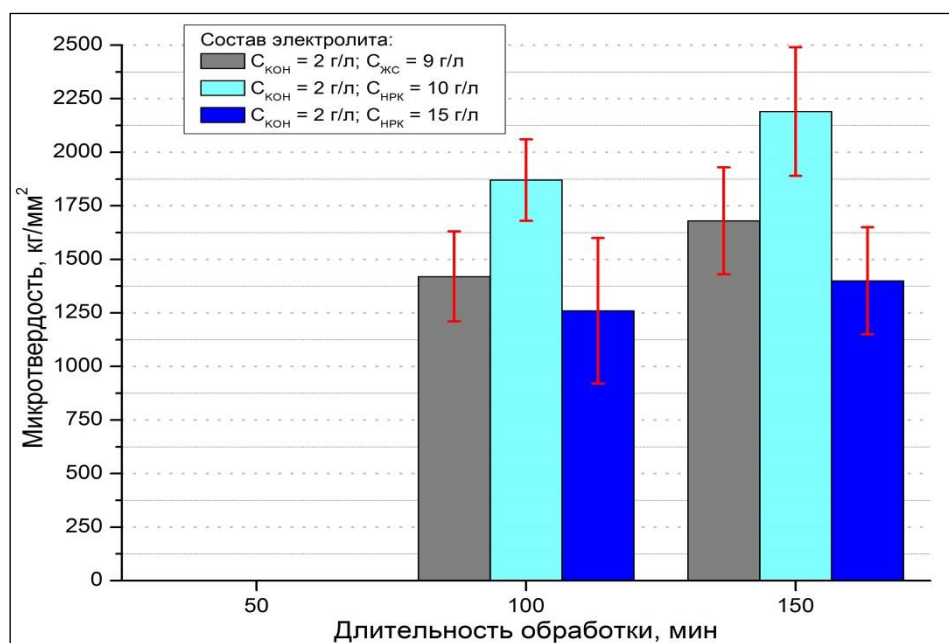


Рис. 4. Влияние концентрации НРК на микротвердость получаемых МДО-покрытий

## ЛИТЕРАТУРА

1. Микродуговое оксидирование защищает металл / И. В. Суминов [и др.]. Наука в России. 1999. № 4. С. 21–25.
2. ГОСТ 4784–97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки: введен 2000-01-07. М. : Издательство стандартов, 1999. 20 с.